

Observation photographique de la lumière cendrée au cours d'une éclipse totale du Soleil à l'aide d'un instrument d'amateur

La première observation photographique de la lumière cendrée au cours d'une éclipse totale a été réalisée semble-t-il par l'Institut d'Astrophysique de Paris lors de l'éclipse du 7 mars 1970 (ref [1]). On présente ici une observation photographique obtenue à l'aide d'un instrument d'amateur lors de l'éclipse du 26 février 1998 à la Guadeloupe.

1. Les conditions d'observation de l'éclipse

L'éclipse totale du soleil du 26 février 1998 était visible depuis le Nord de la Guadeloupe pour une durée de totalité de 3 mn 00s.

Les conditions d'observation se sont avérées très bonnes. Le ciel était entièrement dégagé pendant tout le déroulement de l'éclipse, sans être pour autant d'un bleu «coronal». On pouvait constater, avant le début de l'éclipse, une nette diffusion de la lumière autour du soleil.

Lors de la totalité, le ciel est passé au bleu profond. La hauteur du soleil au dessus de l'horizon était alors de 48°. La luminosité générale est restée suffisante pour permettre de voir sans difficulté l'échelle des vitesses d'obturation sur le boîtier photo.

2. Le matériel utilisé

Mon objectif pour cette éclipse était de photographier la couronne solaire sur le plus grand champ possible, jusqu'à 5 rayons solaires (R_{sol}) ou plus du centre du soleil, ce qui demande un champ d'au moins 5 degrés. En 24 x 36 ce champ est couvert par une distance focale de 400 à 500 mm de focale. Ma petite lunette Fluorite de 55 mm de diamètre et 440 mm de focale convenait donc très bien.

Ce type d'instrument présente d'autre part un certain nombre d'avantages pour la photographie d'éclipses du soleil :

- il n'y a que quatre surfaces air-verre dans tout le chemin optique, ce qui limite les reflets et la diffusion de la lumière,
- le bafflage est très bien réalisé (7 diaphragmes de diamètres décroissants à l'intérieur du tube optique) ce qui limite là aussi les reflets.

Enfin, dernière précaution contre les reflets, l'intérieur de la

bague raccord photo a été recouverte de velours noir mat (le coefficient de réflexion du velours est 100 fois plus faible que celui de la peinture noire mate pour les incidences rasantes (voir ref [2])

La lunette était montée sur une monture équatoriale allemande motorisée Unitron, qui présente une excellente stabilité (les vibrations s'amortissent en moins d'une demi-seconde), une bonne qualité d'entraînement (l'erreur périodi-

que est de ± 15 secondes d'arc avec une période de 6 mn), le tout dans un volume suffisamment compact pour être transportée dans une valise.

La mise en station a été faite en plein jour, d'abord en dégrossissant la position de l'axe polaire à l'aide d'un compas de relèvement et d'un inclinomètre en fonction la déclinaison magnétique et de la latitude du lieu donnée par la carte IGN, puis en affinant l'azimut de l'axe polaire en appliquant la méthode de Bigourdan sur le soleil.

L'appareil photo était un Olympus OMI dont le miroir avait été relevé pour diminuer les vibrations. Le moteur du boîtier était commandé par un déclencheur électrique, ce qui présente un double intérêt :

- c'est plus rapide que le réarmement manuel,
- sur la monture Unitron, il y a un léger jeu «fonctionnel» entre la roue dentée alpha et la vis sans vis. Ce jeu n'est pas gênant en fonctionnement normal puisque le moteur alpha tourne toujours dans le même sens. En revanche, dès que l'on manipule l'appareil photo (pour réarmement ou changement de vitesse), une partie de ce jeu doit être rattrapé à nouveau, ce qui demande 10 à 15 s pendant lesquelles la monture n'est plus entraînée à la vitesse sidérale, même si on prend la précaution de tenter de rattraper le jeu à la main en exerçant une pression sur la monture dirigée dans le bon sens.

Le boîtier Olympus était équipé d'un verre dépoli «astronomique» (verre n°8) et d'un viseur d'angle «varimaghi» pour la mise au point. Cet accessoire, qui comporte 6 lentilles et un miroir, a une qualité optique assez moyenne et donne des images assez sombres, mais permet malgré tout d'affiner le point grâce à un grossissement de X2.5. La mise au point a été réalisée quelques instants avant le début la totalité au travers d'un filtre objectif 1/1000 Lichentenecker. Les essais ont montré que le décalage entre la mise au point obtenue avec le filtre et sans le filtre était inférieur à 5/100 mm, ce qui reste dans la latitude de mise au point pour une optique à F/8.

► Références

- [1] : Observation de la lumière cendrée au cours d'une éclipse totale – Note de Serge Koutchmy présentée par M. André Lallemand – C.R Acad. Sc. Paris, t271, p 259-261 (20 juillet 1990)
- [2] : Harrie Rutten - Telescope Optics – Willmann Bell
- [3] : Observer l'éclipse - Patrick Martinez – Patrick Morel – Association Adagio
- [4] : Site web de Wendy Carlos : <http://www.wendycarlos.com/eclipse.html>
- [5] : Site web de Shigemi Numizawa : <http://www1.nisiq.net/~numazawa/JPLhome.html>
- [6] : Site web Astroart : http://www.sira.it/msb/index_en.htm
- [7] : Site web Qmips : <http://www.astroccd.com/qm32>
- [8] : Sky and Telescope May 1998
- [9] : Ciel et Espace juin 1998
- [10] : Sky and Telescope Nov 1999

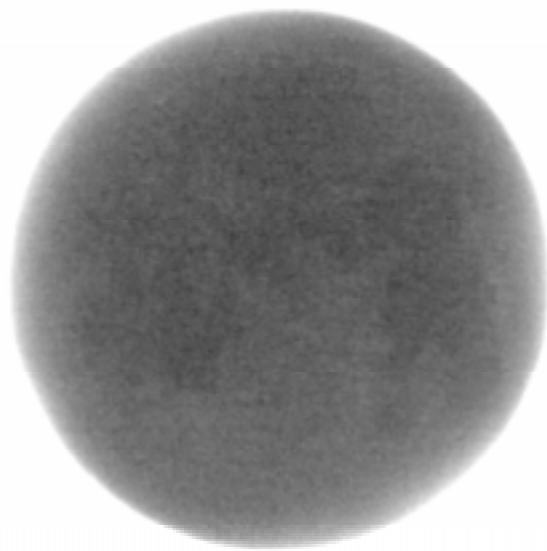


Figure 1 : composante verte de la lumière cendrée issue d'une image élémentaire.

3. La prise de vue

Le difficulté majeure posée par la photographie d'une éclipse totale du soleil est l'écart de luminosité considérable entre les parties les plus brillantes (protubérances et très basse couronne) et les parties les plus faibles (grande couronne et ... lumière cendrée). La luminosité de la couronne à un rayon solaire du bord du soleil est déjà 1000 fois plus faible que celle des protubérances!

On trouvera dans ref [3] une présentation de diverses techniques qu'il est possible d'envisager pour s'attaquer à cette difficulté.

La méthode la plus efficace, mais la plus difficile à mettre en œuvre, consiste à positionner devant le film un masque neutre radial dont la densité varie comme la luminosité de la couronne.

La technique que j'ai tenté de mettre en œuvre est une variante de celle utilisée depuis de nombreuses années par des photographes comme Wendy Carlos aux USA (ref [4]) ou Shigemi Numazawa au Japon (ref [5]).

Il s'agit de faire une série d'images avec des temps de poses étagés, les temps de pose courts enregistrant la basse cou-



Figure 2 : composante verte de la lumière cendrée issue de l'addition de 7 images. Le centrage est fait sur la lune. Les seuils de visualisation sont identiques à ceux de la figure 1.

ronne et les protubérances, les temps de pose de plus en plus longs enregistrant la couronne de plus en plus lointaine. Ces images élémentaires sont ensuite combinées pour ne conserver que les parties correctement exposées de chaque image. Cette méthode, qui demande un talent certain si on la met en œuvre avec les méthodes de tirages photographiques traditionnelles, devient beaucoup plus accessible avec le traitement numérique.

La seule modification que j'ai effectué par rapport à cette méthode consiste à prendre plusieurs images pour chaque temps de pose, ce qui permet de les composer et d'améliorer ainsi le rapport signal/bruit.

3.1. Films et temps de pose :

Suite aux essais que j'avais réalisés lors d'autres éclipses avec des films inversibles (Fujichrome Velvia et Kodak Elite 50) et des films négatifs couleurs (Agfa Optima 100), mon choix s'est porté sur le film négatif couleur qui présente l'avantage d'une latitude de pose considérable, ce qui est déterminant en l'absence de filtre radial.

Les temps de pose utilisés sur film Kodak Royal Gold 100 à F/8 sont les suivants :

- 1/1000 s, pour les grains de Bailey,
- 1/250 s, pour les protubérances,
- 1/30 s, 1 s et 4 s pour la couronne.

La dynamique du film rend inutile l'utilisation de temps de pose intermédiaires. Le film a été développé en cuve amateur avec la chimie Tetenal mono PK RA-4.

4. La numérisation des clichés

A ce jour, la méthode présentée plus haut n'a été mise en œuvre que très partiellement. Seuls les sept poses de 1 s et les deux poses de 4 s ont été utilisées.

Les négatifs ont été scannés en 12 bits par couleurs à l'aide d'un scanner Nikon LS 2000 à la résolution de 2700 dpi (2700 points par pouce), ce qui correspond à des pixels de 9.4 µm sur le film et 4,3 arcsec sur le ciel. La taille des images est de 2498 x 3762 pixels (soit 2.97° x 4.49°) ce qui représente 55 Mo pour chaque image sauvegardée en format TIFF (16 bits par couleur).

L'ordinateur utilisé était doté d'un processeur Celeron 400 Mhz et de 256 Mo de RAM ce qui a permis d'avoir des temps de réponse acceptables.

5. Le traitement numérique

On trouvera ci-dessous les grandes lignes du traitement appliqué pour obtenir les images présentées ici ⁽¹⁾.

La première étape, purement cosmétique, consiste à supprimer (numériquement) les rayures et poussières pouvant exister sur les négatifs. Cette étape est réalisée à 90% par la fonction de «dépoussiérage» du scanner, qui s'avère très efficace sur le Nikon LS2000, puisqu'il est capable de distinguer un dépôt de calcaire (qu'il efface) d'une étoile (qu'il n'efface pas) et ceci sans altérer la résolution. Un «dépoussiérage» complémentaire est ensuite effectué manuellement dans un logiciel de traitement classique (outil de «clonage de pixels») pour supprimer les dernières traces de rayures. Les derniers défauts ponctuels sont laissés en l'état car ils sont très diffi-

⁽¹⁾ La version de l'image présentée en couverture de Pulsar de mars 1999 a été obtenue avec un traitement plus rudimentaire.

les à distinguer des étoiles «réelles» du champ.

Chaque image trichrome (3x16 bits) est ensuite décomposée en 3 images monochromatiques (rouge, vert, bleu) afin de pouvoir travailler avec des logiciels de traitement d'images CCD, en l'occurrence Astroart (ref[6]) et Qmips (ref[7]), et de bénéficier ainsi d'un certain nombre de possibilités n'existant pas dans les logiciels de traitement d'images classiques.

La suite du traitement appliqué sur chaque couleur se décompose en 4 grandes étapes :

- centrage des images les unes par rapport aux autres,
- compositage des images,
- masque radial,
- masque flou.

On trouvera ci-dessous quelques commentaires sur ces différentes étapes.

5.1. Centrage des images les unes par rapport aux autres
La lune se déplaçant par rapport au soleil entre la première image et la dernière (0.5 seconde d'arc/seconde de temps environ), on a un bougé sur la couronne solaire si on utilise le disque lunaire pour centrer les images les unes par rapport. Il existe plusieurs possibilités pour éviter cela :

- centrer les images par rapport à des étoiles visibles dans le champ,
- centrer les images par rapport aux protubérances,
- prendre en compte le déplacement de la lune par rapport au soleil entre les différents clichés (ce qui suppose d'avoir orienté précisément le champ de l'appareil photo et d'avoir daté chaque image).

Pour ma part, j'ai centré les images (à 1 pixel près en translation et 0.05 degré près en rotation) en utilisant les deux étoiles de magnitude 6.5 visible dans le champ. Cette étape s'est avérée la plus difficile du traitement ces deux étoiles étant à la limite de détection sur les images individuelles.

5.2. Compositage des images

L'addition de N images permet d'augmenter le rapport Signal/Bruit d'un facteur ÖN. L'addition des 7 images posées 1 s conduit donc à un gain de 2,7. On peut se rendre compte de cette amélioration très significative en comparant l'image

de la surface de la lune obtenue avec une seule image (Figure 1) à celle obtenue en additionnant les 7 images (Figure 2), ou encore en comparant le profil photométrique le long de la diagonale du champ sur une seule image (Figure 3) et sur l'image compositée (Figure 4).

5.3. Masque radial :

Les structures que l'on observe dans la couronne solaire lors d'une éclipse appartiennent à la couronne de plasma. La couronne de poussières se présente pour sa part comme un halo lumineux sans aucun détail. L'objet de cette étape du traitement est de réduire le gradient radial de luminosité afin mettre en évidence les détails de la couronne de plasma.

Le principe de la méthode est le suivant :

Il s'agit d'abord de passer en coordonnées polaires (le centre étant le centre du soleil) et de sélectionner l'azimuth ayant le profil photométrique le moins lumineux.

On revient ensuite en coordonnées rectangulaires pour obtenir un masque radial (un pour chaque couleur) ayant pour profil celui de l'azimuth sélectionné précédemment.

Ce masque est enfin soustrait à l'image issue du compositage. Ce traitement un peu «musclé» donne un résultat assez éloigné de ce que l'on peut observer visuellement. La balance des couleurs n'est pas conservée. En contrepartie, toute la dynamique de détails enregistrée par le film est visualisée depuis les zones sous-exposées jusqu'aux zones sur-exposées.

5.4. Masque flou

Le traitement se termine par l'application d'un masque flou très léger (sigma = 15 et coefficient = 0.4).

5.5. Traitement complémentaire pour la lune

Dans le traitement présenté ci-dessus les images sont centrées par rapport aux étoiles. Les détails de la surface de la lune sont donc légèrement bougés. Pour éviter ce défaut, il suffit de centrer les images par rapport au disque lunaire.

C'est ce qui a été fait dans un deuxième traitement, en repartant toujours des mêmes 7 images posées 1 s et en y ajoutant cette fois-ci les deux images posées 4 s. Le centrage est réalisé à 0.2 pixels près sur le disque lunaire. Un masque flou très léger est ensuite appliqué (sigma = 15 et coefficient =

0.75).

On est donc maintenant en présence de deux images :

- sur la première, la couronne solaire est nette et la surface de la lune est floue,
- sur la seconde, la couronne solaire est floue et la surface de la lune est nette.

La fin du traitement consiste à assembler ces deux images pour obtenir une image où la couronne solaire et la surface de la lune sont nettes.

6. Observation de la lumière cendrée

La lumière cendrée est déjà faiblement visible lorsque l'on examine à la loupe les négatifs posés 1s et 4s. En fait, j'ai d'abord pensé qu'il s'agissait d'un reflet, reflet que j'ai «supprimé» numériquement dans un premier temps (voir l'image compositée à partir de 3 négatifs dans Pulsar de mai-juin 1998 page 47).

Après l'acquisition d'un écran vidéo classique (j'avais utilisé pour les premiers traitements l'écran à matrice active de mon portable Toshiba), je me suis rendu compte que ce que j'avais initialement pris pour un reflet était bien la surface de la lune.

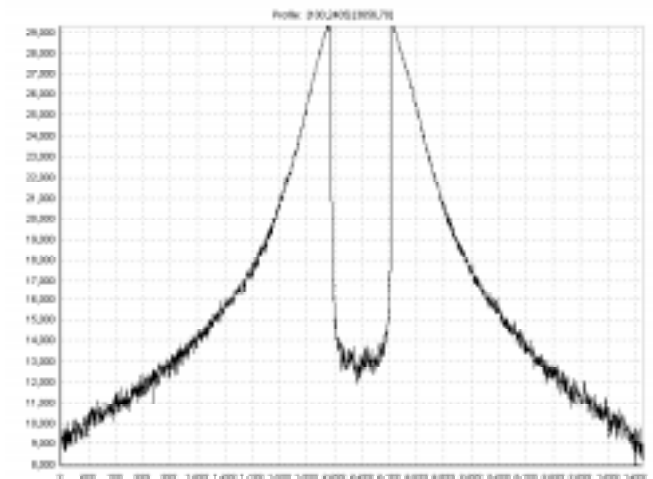


Figure 3 : profil photométrique le long d'une coupe diagonale du champ (Nord-Est vers Sud-Ouest) sur la composante verte d'une image élémentaire.

La figure 5 montre le profil photométrique, en lumière rouge, sur une coupe diagonale du champ passant par le centre de la lune dans le sens Nord-Est vers Sud-Ouest. On constate la forte diffusion de la lumière sur le bord du disque lunaire. Cette diffusion, dont l'origine est essentiellement le passage de la lumière au travers des différentes couches du film, est plus importante dans le rouge (environ 0.4 mm mesuré sur le film), qui est la dernière couche sensible traversée par la lumière, que dans le bleu (environ 0.15 mm mesuré sur le film), qui est la première couche sensible traversée par la lumière (Figure 6).

La luminosité cumulée dans le rouge de la surface de la lune et du fond du ciel est de l'ordre de celle cumulée du fond du ciel et de la couronne à $6 R_{\text{sol}}$ du centre du soleil (cf figure 5). Cette valeur n'est qu'un ordre de grandeur puisque aucun étalonnage photométrique des clichés n'a été réalisé. En comparaison, la référence [1] donne, pour l'éclipse du 7 mars 1970, une luminosité des terres lunaires équivalente à celle de la couronne à $5 R_{\text{sol}}$.

La couronne solaire pour sa part est détectable sur une distance supérieure à $8 R_{\text{sol}}$ du centre du soleil (Figure 7). Neuf étoiles sont visible dans le champ, la plus faible étant de ma-

gnitude 8.5.

7. D'autres observations de la lumière cendrée

La possibilité de photographier la lumière cendrée lors d'une éclipse n'est pas très connue des astronomes amateurs (moi le premier avant cette éclipse !).

Outre les observations de professionnels, comme celles de l'Institut d'Astrophysique de Paris, on peut mentionner, pour l'éclipse du 26 février 1998, les observations d'astronomes amateurs comme Conrad Pope avec une lunette Brandon de 94 mm (ref [8]), celle de Christian Barret avec un téléobjectif 300 F/5.6 (ref [9]) ou celle de Carlos Bertoni (ref [10], instrument non précisé). D'autres observations, non publiées à ma connaissance, ont été réalisées par des amateurs lors de l'éclipse du 11 juillet 1991.

Le point commun à toutes ces observations est l'utilisation d'une combinaison optique/film/temps de pose permettant la détection de la couronne solaire au delà de $5 R_{\text{sol}}$.

8. Et pour les prochaines éclipses

La CCD est probablement l'arme absolue pour ce genre d'observation. Le film, malgré ses limites, possède toujours un

intérêt du fait de sa facilité de mise en œuvre et de la cadence de prise de vues qu'il autorise. Une voie d'amélioration est probablement la réalisation d'image de flats ce qui permettrait de corriger le vignettage de l'instrument.

Enfin, l'observation visuelle de la lumière cendrée lors d'une éclipse totale a été rapportée par au moins deux observateurs :

- Stephen J. O'Meara lors de l'éclipse du 11 août 1999 (ref [10]),

- Patrick Poitevin de Belgique (ref [10]) lors des éclipses du 11 juin 1983 (réfracteur de 70 mm de diamètre et 1000 mm de focale), du 3 novembre 1994 (Celestron 90, focale 1000 mm) et du 24 octobre 1995. Ces observations ont été réalisées directement au travers du verre de visée clair du boîtier photo.

Pour ma part, je n'ai rien vu au chercheur 6x30 de ma lunette, j'étais surtout intéressé par les jets coronaux et je ne pensais pas qu'il y avait la moindre possibilité d'apercevoir la lumière cendrée lors d'une éclipse totale du soleil.

Christian Viladrich
viladric@club-internet.fr

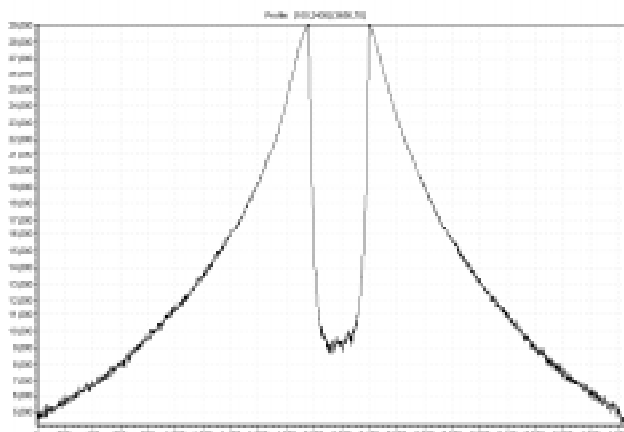


Figure 5 : profil photométrique le long d'une coupe diagonale du champ (Nord-Est vers Sud-Ouest) sur la composante rouge issue de l'addition de 7 images. On remarque la forte diffusion de la lumière sur le disque lunaire.

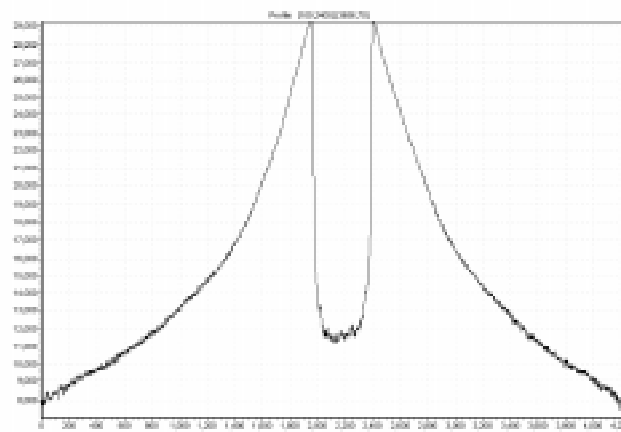


Figure 4 : profil photométrique le long d'une coupe diagonale du champ (Nord-Est vers Sud-Ouest) sur la composante verte issue de l'addition de 7 images. On remarque la réduction très nette du bruit et la forte diffusion de la lumière sur le disque lunaire.

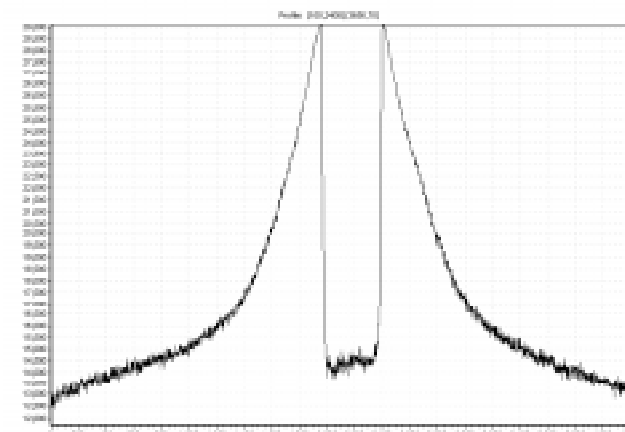


Figure 6 : profil photométrique le long d'une coupe diagonale du champ (Nord-Est vers Sud-Ouest) sur la composante bleue issue de l'addition de 7 images. On remarque la diminution de la diffusion de la lumière sur disque lunaire par rapport à l'image en lumière rouge.

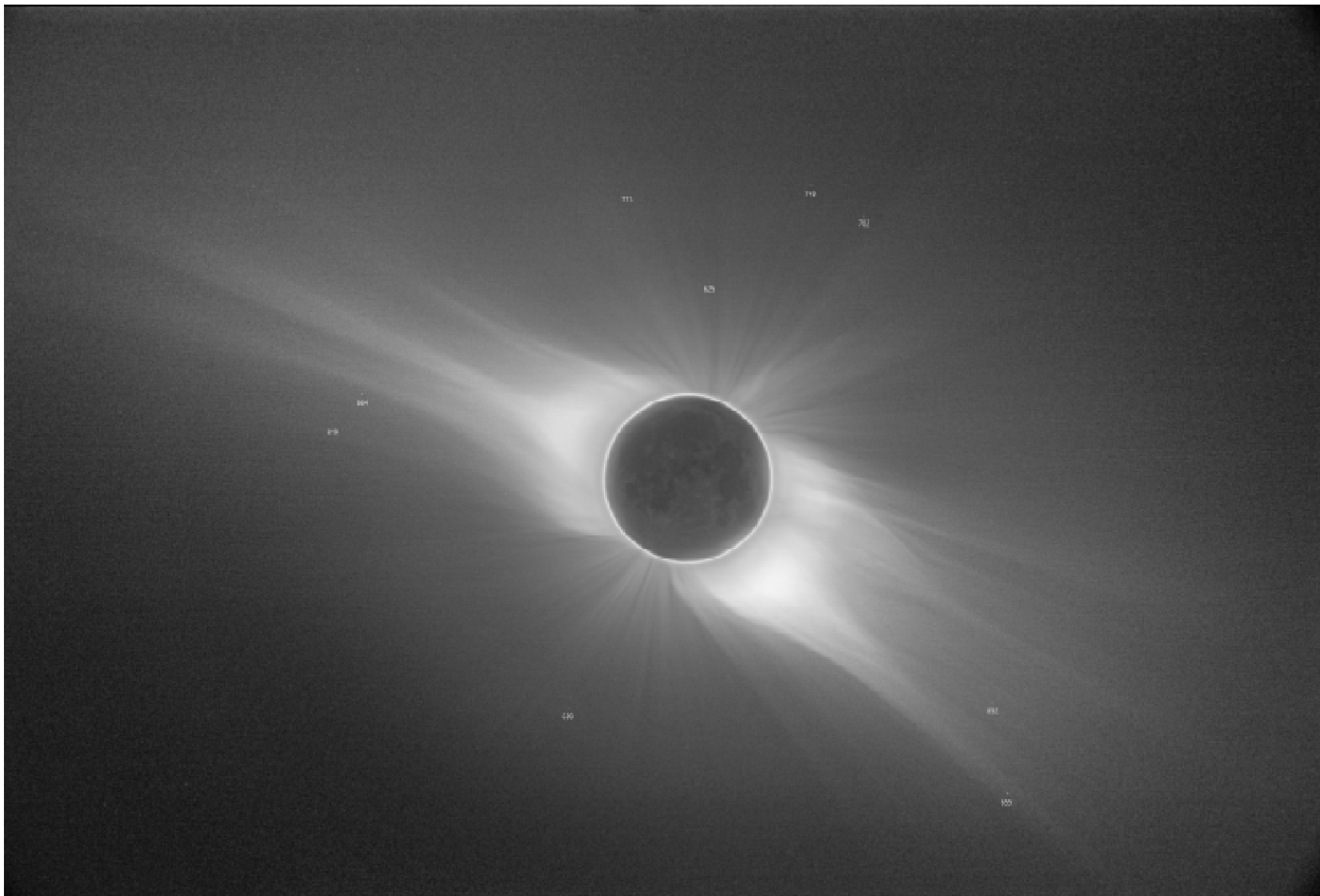


Image résultant de l'ensemble des traitements, avec le repérage des étoiles visibles dans le champ. L'image en couleur est présentée en page centrale du présent Pulsar.

Pulsar 736 - Janvier/Février 2000